

急流河川における河床地形の定量的区分

QUANTITATIVE CLASSIFICATION OF TOPOGRAPHICAL FEATURES OF STEEP-STREAM RIVERBEDS

野上 毅¹・渡邊 康玄²・中津川 誠³
 Takeshi NOGAMI, Yasuharu WATANABE and Makoto NAKATSUGAWA

¹正会員 北海道開発土木研究所 環境研究室 副室長 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)
²正会員 工博 北海道開発土木研究所 河川研究室 室長 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)
³正会員 工博 北海道開発土木研究所 環境研究室 室長 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

Relationships between variations in river topography, such as riffles and pools, and fish, benthos, etc., have long been studied. The topographical classification of riffles and pools, however, is still conducted qualitatively. To take measures for the restoration or improvement of habitats, it is necessary to quantify these relationships and explain them in hydraulic terms. Meanwhile, studies on river-bed morphology have been conducted from the sediment hydraulics viewpoint, allowing for expression with physical indices. This paper examines the quantitative classification of riffles and pools of mountain streams, based on the findings of sediment hydraulics, to clarify their characteristics.

Key Words : topographical classification, habitat, steep river, field survey

1. はじめに

瀬や淵といった河川地形の凹凸と、魚類や底生生物などとの関連は古くから調べられてきている¹⁾。しかし現在でも瀬淵の地形区分は定性的なものであり、具体的に生息域等の再生や改善を施そうとした場合、定量化や水理的な説明が課題と考える。一方で土砂水理学的観点からは河床形態として研究が進められ、物理的指標を用いて表現可能となってきた。本論文において、急流河川における瀬淵の地形区分(以下ハビタット区分と呼ぶ)の定量化について土砂水理学の知見を用いて検討を行い、その特徴を把握した。

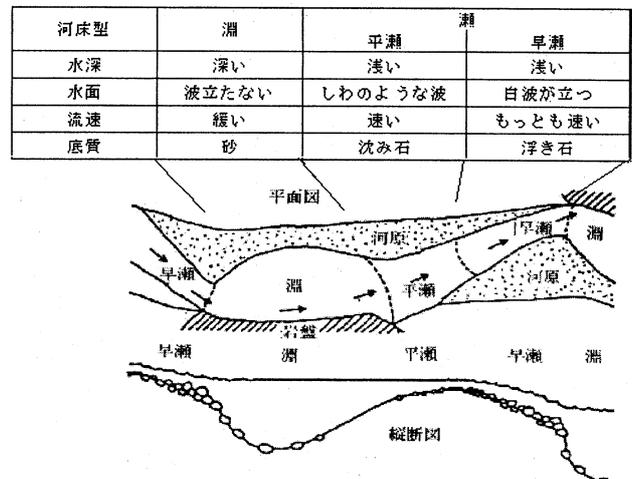


図-1 瀬と淵の区分模式図(文献3)に加筆

2. ハビタット区分の既往知見

(1)河川生態学における瀬淵の定義¹⁾

河川生態学の分野では可見藤吉や水野信彦は河川中流部(Bb型)の1蛇行区間を水深、流速、底質など(図-1)からまず瀬と淵に区分し、瀬については、さらに平瀬と早瀬に分け、この3種を川の構成要素(河床型)であるとされた。また上流部(Aa型)では、1つの蛇行区間に多くの瀬と淵が交互に出現することを述べている。特に水生昆虫や付着藻類については、1つの単位区分(早瀬、平瀬、淵)内の

生息状況を把握することによって、付近の全体的な生息状態を推定できることが述べられている。このように可見の業績は、河川地形学をベースにした河川生態学として、多くの卓見を含んでおり、高い評価がされている²⁾。

(2)河川工学における瀬淵

河川生態学における瀬淵の定義は物理的指標との関連が不明であり、工学的利用は限られている。そのため本論文では瀬や淵の特徴を、実際のデータおよび河川水理学の基礎的な知見から整理し、定量的な区分方法につい

て検討した。一般に自然溪流では、大・中・小規模河床波が共存している⁴⁾とされているが、対象とした群別川の既往調査より、淵-平瀬-早瀬と、河川工学における中規模河床形態(単列の交互砂州)の蛇行半波長と対応関係が見られた⁵⁾。このことから、中規模河床形態スケールの瀬や淵に着目して検討した。

図-2は河床地形が形成される洪水時の平面、縦断を示した模式図である。また図-3は平常時の模式図である。このように一般的に平常時の瀬と淵の形成は、洪水時の砂州の形成がベースになっている場合が多い。平水時のハビタットを考える上で洪水時の地形形成過程を合わせて考えることが重要である。

3. 調査河川概要

本論文で対象とした河川は、北海道浜益村を流れる群別川および十勝川の支川である札内川である。

表-1に示すように群別川は、流路延長15.7km、流域面積33.9km²の急流礫床河川であり、調査区間は、河口から約3km地点の約400mの区間である。なお調査区間における平均河床勾配は1/43、平均水面幅は7.6mであった。札内川は、流域面積725km²、流路長82kmの農村地帯を流れる河川である。調査箇所は平均河床勾配は1/130である。砂州形態は2~3列の複列砂州である。調査箇所は上札内橋下流(KP40.4~41.6)である。

4. 溪流におけるハビタット区分

(1) 急流小河川におけるハビタットの特徴

群別川における低水時の実測データから急流小河川におけるハビタット区分(瀬, 淵)と水量の関連を整理した。群別川におけるハビタットタイプの区分方法は、瀬, 淵の形成が中規模河床形態によるものとの考えから、既往調査⁵⁾データである図-4の縦断図を用い、水面勾配(i_w)により定量的に区分した。ここで河床勾配による区分も考えられるが、淵の上流側と瀬の河床勾配との差違が明瞭でないこと等から区分パラメータとしては適切ではない。

i_w が水平に近く凹状の河床形をしているものを淵、平均河床勾配より緩い所を平瀬、急な所を早瀬に区分した。図-4の下側に示した区分は現地での視覚による区分つまり図-1で示した流速の遅速、水深の深浅などに基づく区分である。視覚による区分は、水面勾配による区分と概ね一致しているものの、上下流の相対的な勾配つまり小規模スケールの地形に左右される傾向がみられた。

一方、真駒内川においては、フルード数(F_r)により瀬淵の区分が可能であった⁶⁾。視覚による区分の判断材料である流速、水深を用いて、区分毎の F_r を求める。淵にお

表-1 調査対象河川の概要

	群別川	札内川	
流路延長	16 km	82 km	
流域面積	34 km ²	725 km ²	
調査地点概要		本流路	分岐流路
KP (km)	2.6~3.0	40.4~41.6	40.4~41.2
河床勾配	1/43	1/145	1/115
流量	0.4 m ³ /s	11.0 m ³ /s	1.8 m ³ /s
水面幅	6.8 m	20.0 m	11.5 m

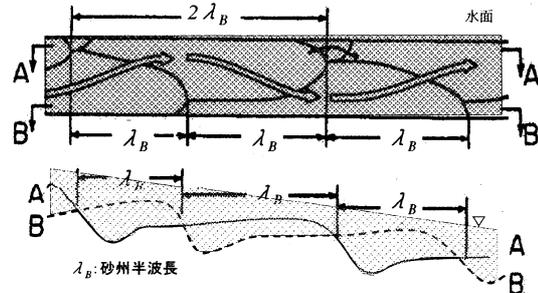


図-2 洪水時(河床形成時)の平面図, 縦断図

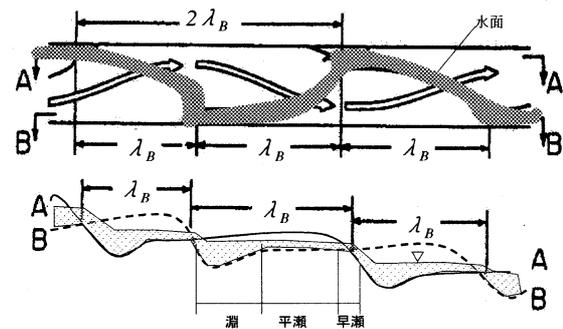


図-3 平常時の平面図, 縦断図

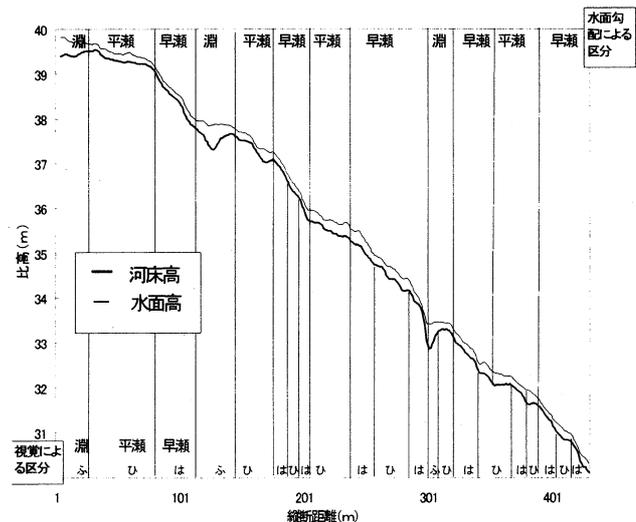


図-4 群別川の縦断図と地形区分

いて、流速が小さく水深が大きいことから、 F_r は小さくなる。一方、早瀬において、流速が大きく水深が小さいことから、 F_r は大きい。このようにハビタット区分と F_r の関連は定性的に結びつけられる。一方、 i_w は、中規模

河床形態という地形的特徴を間接的ではあるが表現している。このことから、 i_w と F_r の関連が説明できれば、地形的な特徴と水理的な特徴を示す2つの指標を用いて、ハビタットを客観的かつ連続的な数値により示すことができ、従来の視覚によるハビタット区分による主観性、曖昧さが解消される。そこで群別川においても F_r を用いた区分を試みる。図-5は群別川において平均流速(v)、平均水深(h)を用いて瀬淵と F_r との関係を調べたものである。 v と h は1mメッシュで計測したものをハビタット区分別に平均したものである。 $F_r < 0.13$ の領域に淵、 $0.13 < F_r < 0.18$ の領域に平瀬、 $0.18 < F_r$ の領域に早瀬がプロットされ、群別川でも、 i_w だけでなく F_r によって早瀬、平瀬、淵が区分できることがわかる。このことから i_w と F_r の関係をみることにする。図-6は群別川における i_w と F_r の関連を示す図である。 i_w と F_r の間には強い相関関係がみられる。

(2)ハビタット区分と水理量

前節で i_w と F_r の間に強い相関関係がみられたことについて検討を加える。

流れに対する河床の抵抗について急流河川であることを考慮し、(1)式で表わされるHeyの式⁷⁾を用いると、 F_r は勾配および水深(h)と河床材料の84%粒径(d_{84})の比で表され、(2)式となる。

$$\frac{1}{\sqrt{C_f}} = 5.75 \log \frac{11.16h}{3.5d_{84}} \quad (1)$$

$$F_r = \frac{\sqrt{i_e}}{\sqrt{C_f}} = \sqrt{i_e} \left(5.75 \log \frac{11.16h}{3.5d_{84}} \right) \quad (2)$$

ここで、 C_f : 河床の摩擦係数である。

図-7は群別川における実測の d_{84} 、 h 、 i_e を用いて(2)式より F_r (計算値)を求め実測値と比較したものである。また i_e は i_w で代用した。これより概ね計算値と実測値が近い値をとっていることがわかり、(2)式の妥当性が確認できる。

さらに実測値に適合するように、最小2乗法を用いてHeyの式を変形させると(3)式となる。

$$F_r = \frac{\sqrt{i_e}}{\sqrt{C_f}} = \sqrt{i_e} \left(2.0 \log \frac{11.16h}{d_{84}} \right) \quad (3)$$

図-8は(3)式の適合状況を示すものである。

以上より溪流におけるハビタット区分の指標(瀬や淵の傾向を示す指標)として F_r という水理量を用いることの妥当性について、勾配という地形量との関連から理論式および実測値を用いて検証した。

(3)フルード数と河床の攪乱

河川環境を考える上で、底質の状態も重要な要因である。浮石であるか沈石であるかによって、特に底生魚の生息と大きな関連がある⁹⁾。また北村ら⁸⁾は附着藻類、底生生物、魚類の生息場と密接に関連する河床攪乱頻度(2

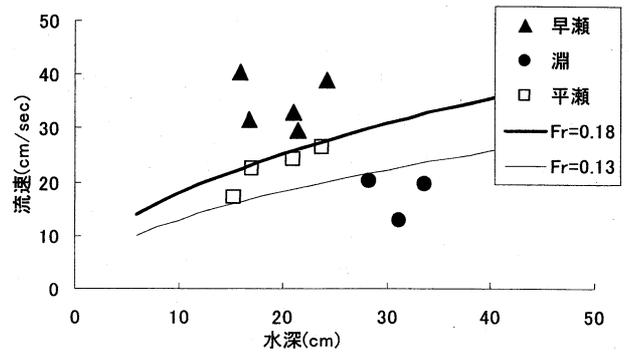


図-5 群別川の区分別の平均流速、平均水深

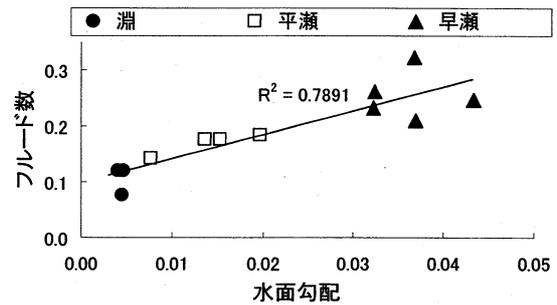


図-6 群別川におけるフルード数と水面勾配

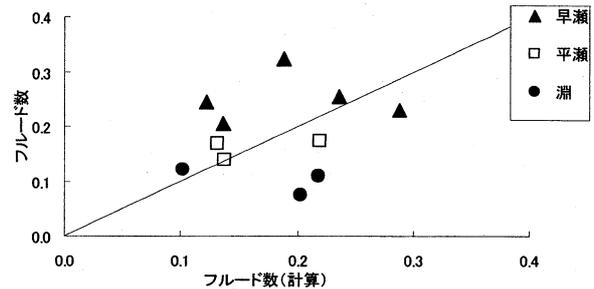


図-7 群別川における F_r の実測値と計算値((2)式)の比較

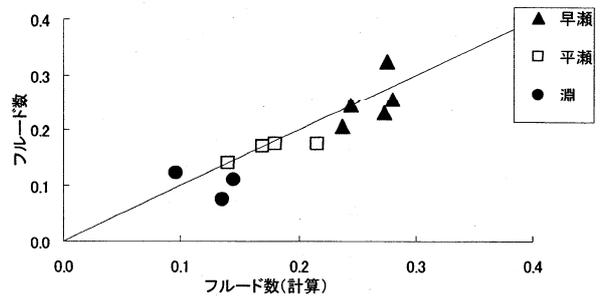


図-8 群別川における F_r の実測値と計算値((3)式)の比較

次元水理計算による再帰期間の算出)と平水時の F_r との関連を縦断的に評価している。

ここでは平常時における河床の細粒分の流れやすさを把握するため、無次元限界掃流力($\tau_{*c} = 0.05$)から、各地点における平常時の移動可能な最大粒径(d_{max})の概略について式(4)を用いて推定することとした。なお河床材

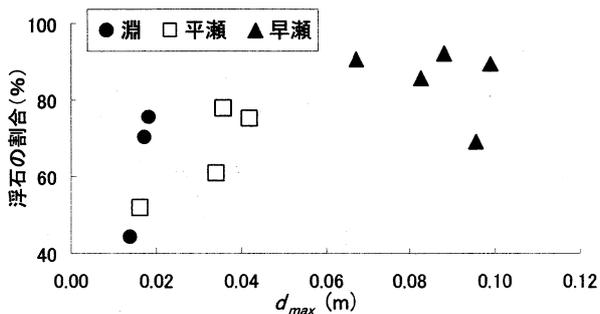


図-9 群別川における d_{max} と浮石の割合

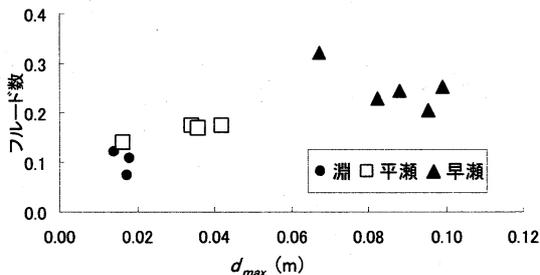


図-10 群別川における d_{max} と F_r

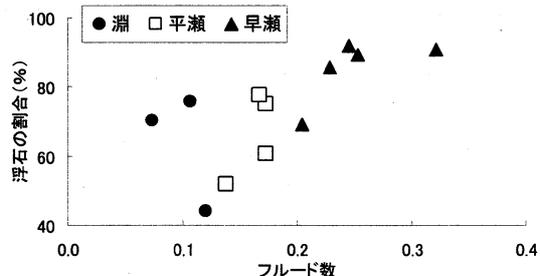


図-11 群別川における F_r と浮石の割合

表-2 調査区間の特徴

	群別川		札内川	
			分岐流路	主流路
河床勾配	1/43		1/115	1/145
流量	0.4 m ³ /s		1.8 m ³ /s	11.0 m ³ /s
水面幅	6.8 m		11.5 m	20.0 m
局所流速	0.46 m/s		0.72 m/s	0.88 m/s
局所水深	0.33 m		0.33 m	0.45 m
平均流速	0.28 m/s		—	—
平均水深	0.22 m		—	—
60%表面粒径	0.28 m		0.11 m	0.19 m
84%表面粒径	0.48 m		0.24 m	0.31 m
調査区間長(L)	430m		736m	1267m
瀬淵区分数(n)	12		11	14
平均区分長(L/n)	36m		67m	90m

*群別川の局所流速は横断最大の流速の縦断平均値

*札内川の局所流速、水深は主流線付近の局所値の平均値

*平均区分長は各ハビタットの縦断的長さの平均値

料の水中比重(s)は1.65とした。

$$d_{max} = \frac{hi_w}{\tau_{*c}s} \quad (4)$$

次に浮石の形成と水理的な要因との関連の把握を行う。

図-9は群別川における d_{max} と浮石の割合との関連を示す。ここで地盤線よりも礫の半分以上が露出した状態を浮石とし、1mメッシュで浮石、沈石を判定し、その割合をハビタット区分毎に求めている。湍や平瀬において d_{max} が小さく、浮石の割合が低い一方、早瀬において d_{max} が大きく、浮石の割合が高い傾向がある。 F_r と d_{94} の間には(2)式のような関係が存在していることから浮石の割合についても F_r で整理できることが予想される。このように F_r は細流分のフラッシュなどによる浮石、また細流分の堆積などが原因の沈石など、河床の攪乱状態を示す指標としても有効であると考えられる。

F_r と d_{max} の関係および浮石の割合と F_r との関係をみたものがそれぞれ図-10,11であり、上記のことが裏づけられていると考える。

5. 札内川におけるハビタット区分

(1)調査流域の概要

前章では急流小河川(単列砂州)におけるハビタット区分(瀬の傾向、湍の傾向)を示す指標としての F_r の有効性について実測値を用いて示した。本章では、より規模の大きな急流河川(複列砂州)におけるハビタット区分について札内川の上札内橋下流(KP40.4~41.6)における実測データを用いて検証を行った。

(2)調査方法

写真-1に示した札内川の調査区間では主流路、および分岐流路(主流路の424m地点から分流)の縦断測量を行った。測量法線は目視で主流線(最深部)に設定し、地形変化点毎に測量を行った。流速、水深は主流線付近の局所値としてハビタット区分毎(平均67~90mピッチ)に代表的な1地点で計測したため、札内川における検討は、この局所値を用いることとする。

図-12は主流路の縦断図、図-13は分岐流路の縦断図を示す。また主流路の平均河床勾配(比高/測量法線長)は1/145、分岐流路の平均河床勾配は1/115だった。

瀬淵区分は、前章に示した群別川と同様な区分方法で行った。河川条件の違いによってハビタットの特徴がどのように異なるか把握するため群別川、札内川分岐流路および主流路の比較を行ったものが表-2である。

ハビタットの平均区分長の比は群別川:分岐流路:主流路=36m:67m:90mであり、平常時流路幅の比の7m:12m:20mと対応関係にあり、一般的に蛇行半波長が川幅と比例関係にあるという点と一致している。

(3)ハビタットの特徴

札内川分岐流路および主流路における水面勾配と局所フルード数との関係について、ハビタット区分別に図示したものが図-14である。この結果より分岐流路と主流路

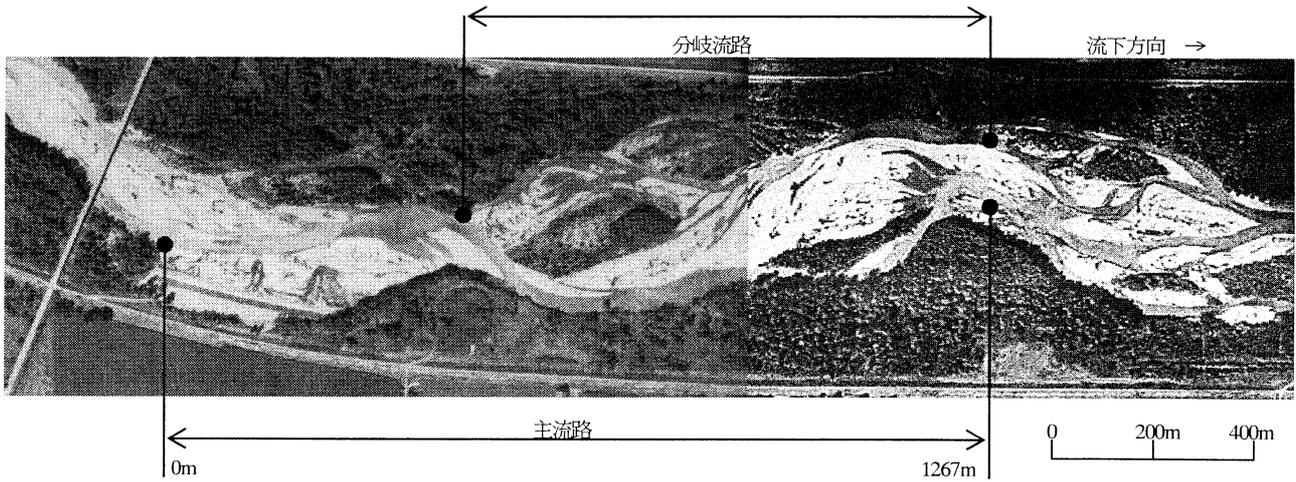


写真-1 札内川における調査地点の航空写真

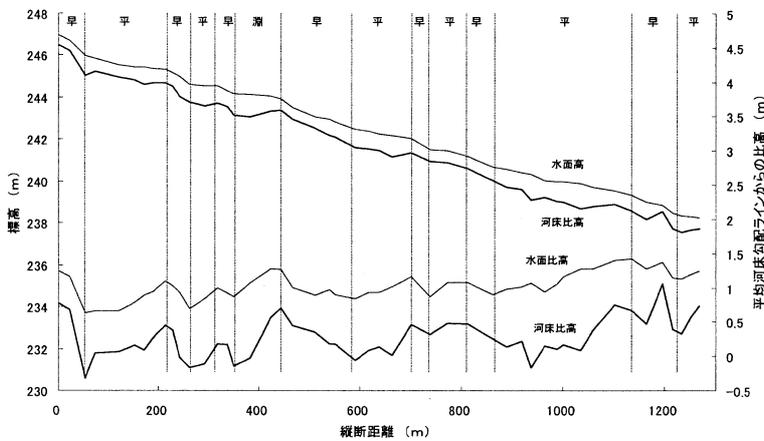


図-12 札内川における縦断図(主流路)

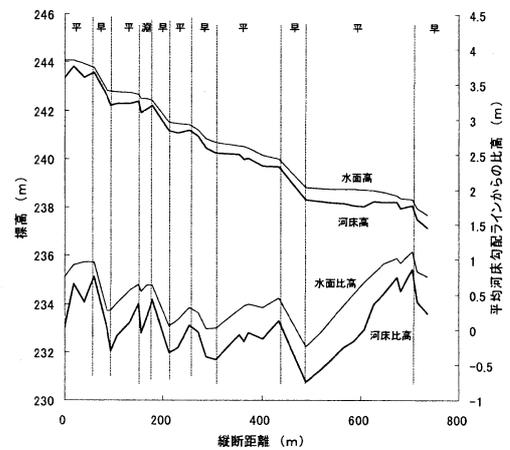


図-13 札内川における縦断図(分岐流路)

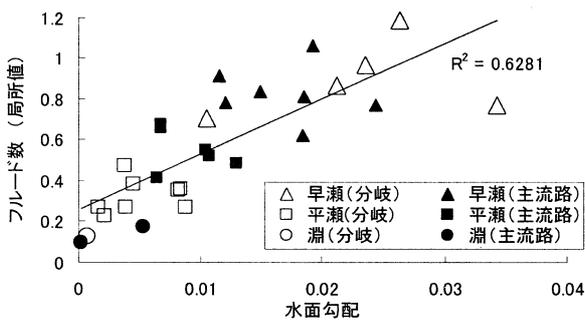


図-14 札内川におけるフルード数と水面勾配

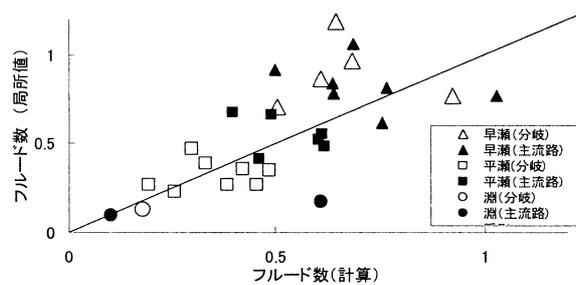


図-15 札内川における F_r の実測値と計算値(5式)の比較

表-3 ハビタット区分の境界値

群別川	札内川	
	分岐流路	主流路
i_w (早瀬と平瀬)	0.025	0.012
i_w (平瀬と淵)	0.005	0.005
F_r (早瀬と平瀬)	0.18	0.60
F_r (平瀬と淵)	0.13	0.20

但し札内川の F_r は局所値

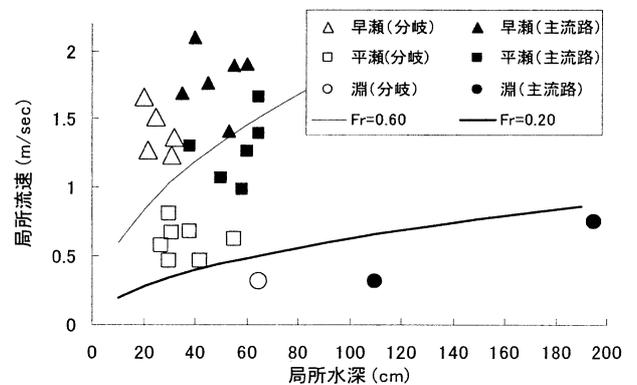


図-16 札内川の区別の局所流速, 局所水深

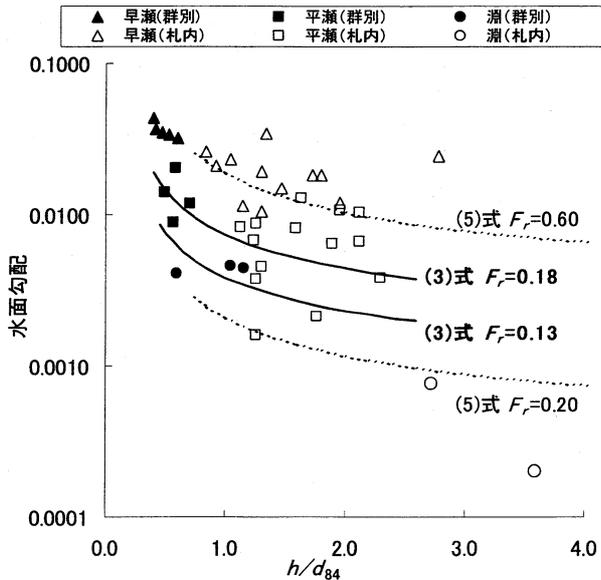


図-17 i_w と h/d の実測値

には明確な違いが無いことがわかる。群別川と同様な手法で抵抗則を求めると(5)式で表され、同一の抵抗則で表現可能と判断される。

$$F_r = \frac{\sqrt{i_e}}{\sqrt{C_f}} = \sqrt{i_e} \left(5.0 \log \frac{11.16h}{1.5d_{84}} \right) \quad (5)$$

図-15は(5)式の適合状況を示すものである。このことから、札内川のデータについては、分岐流路と主流路のデータを統一して検討を行った。図-16は各ハビタット区分別の局所水深と流速の関係を示したものである。同図より淵と平瀬の境界フルード数および平瀬と早瀬の境界フルード数は、それぞれ0.2および0.6と読みとることができる。

表-3に比較を行った3区間における各区分の境界値を示す。札内川と群別川において、境界の F_r が異なる結果となった。これはそれぞれの川における抵抗が異なり、水面勾配と F_r との間の関係も異なるためであると考えられる。表-2に示した平均値を用い、群別川の C_f を(3)式から求めると0.31になるのに対し、札内川の C_f を(5)式から求めると0.04となる。すなわち群別川において札内川より河床の抵抗が大きいことがわかり、そのことが瀬・淵の状態の違いを及ぼしていると考えられる。

(3)式および(5)式には i_w の他に h/d_{84} が変数として入っていることから、各ハビタット区分と i_w および h/d_{84} の関係について図-17に示した。同図には図-5および図-16で求めた各ハビタットの境界フルード数を表す曲線も併記している。群別川と札内川では統一的に区分されなかったが、抵抗則を介すことにより統一的な説明が可能となる。

6. 結論

得られた結論を以下に示す。

- 1) 複数の急流河川における実測データから水面勾配およびフルード数によって、定量的なハビタット区分(瀬淵の地形区分)が可能であることを河川工学の既往知見から整理した。
- 2) 流れの性質(常流, 射流)を表すフルード数は、水面勾配や河床の攪乱との関連があることを整理した。
- 3) 平常時の急流河川においてハビタット区分の境界値を比較した結果、 h/d_{84} , i_w によってフルード数が規定されていることが理論式および実測値から確認できた。
- 4) 流量規模による時間的変化や、抵抗則の適用範囲、河川規模の違いによる統一的な評価などについて今後の課題である。

謝辞：本研究は国土交通省北海道開発局の受託業務による補助を受けて行ったものである。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 水野信彦, 御勢久右衛門: 河川の生態学, 築地書館, 1972.
- 2) 谷田一三: ワンドの生態的機能, わんどの機能と保全・創造, 河川環境管理財団大阪研究所, pp.158-160, 1999.
- 3) 玉井信行, 水野信彦, 中村俊六編: 河川生態環境工学, 東京大学出版会, 1993.
- 4) 目黒嗣樹, 長谷川和義, 大塚剛史, 竜澤宏昌: 山地河川に見られる大・中・小規模共存河床形態の再現実験, 土木学会, 水工学論文集, 第45巻, pp.733-738, Feb, 2001.
- 5) 野上毅, 渡邊康玄, 長谷川和義: 急流河川における生息場としての河川地形区分, 土木学会, 水工学論文集, 第46巻, pp.1127-1132, Feb, 2002.
- 6) T.Nogami, Y.Watanabe, M.Nakatsugawa, F.Nakamura, K.Kamura, H.Yamada, S.Tsuchiya, K.Watanabe & H.Iwase: Field Experiments for mitigation benthic fish habitats in the Makomanai river, I.A.H.R., River Flow 2002, pp.541, Sep, 2002.
- 7) Hey, R.D.: Flow resistance in gravel bed rivers, journal of Hydraulic Division ASCE, Vol.105, No.4, pp.365-379, 1979.
- 8) 北村忠紀, 田代喬, 辻本哲郎: 生息場評価指標としての河床攪乱頻度について, 土木学会, 河川技術論文集, vol.7, pp.297-302, Jun, 2001.
- 9) 野上毅, 中津川誠, 小林美樹: 豊平川と札内川における魚類生息環境の比較, 河川技術論文集, vol.8, pp.283-288, Jun, 2002.
- 10) 知花武佳, 玉井信行: 瀬・淵の質に着目した生息環境評価法の提案, 土木学会, 河川技術論文集, vol.8, pp.79-84, Jun, 2002.

(2002. 9. 30受付)